

Analiza zmienności chemizmu i wydajności wybranych wycieków I poziomu Bono Kopalni Soli Wieliczka

Jerzy Przybyło*, Bogumiła Winid**

Wycieki solanek rejestrowane na I poziomie Kopalni Soli Wieliczka są naturalnymi dopływami do złoża. Pomimo faktu, iż stanowią około tylko 1% dopływu do całej kopalni są istotne, ponieważ mogą być potencjalnym zagrożeniem dla zabytkowych wyrobisk. W artykule przedstawiono charakterystykę geologiczno-hydrogeologiczną wybranych wycieków solanek pochodzących z warstw chodenickich (stanowiących największe zagrożenie wodne dla kopalni) występujących na I poziomie Bono. Przeanalizowane parametry chemiczne i wydajności zostały przedstawione na wykresach. Badane wielkości nie wykazują znacznych wahań co pozwala sądzić, że zagrożenie wodne tego poziomu nie ulega zwiększeniu.

Słowa kluczowe: kopalnia sol., wyciek solny, solanka, skład chemiczny, warunki geologiczno-górnice, warunki hydrogeologiczne, zagrożenie wodne kopalni, Wieliczka kopalnia

Jerzy Przybyło, Bogumiła Winid — **Chemical and discharge changes analysis of some seepages of the first level Bono in the Salt Mine Wieliczka (southern Poland)**, Prz. Geol. 46: 827–835.

Summary. Seepages localised on the first drawing level of Salt Mine Wieliczka are natural inflows to deposit. In spite of fact that they are only 1% inflows to the whole mine they can be reason of some damage to monumental excavations. This paper presents geological and hydrogeological characteristic of some seepages from Chodenice beds on the first drawing level Bono. Diagrams present some changes during the period of 30 years and it let maintain that this level water immence is not increased.

Key words: evaporite deposits, halit, mining geology, water inflow, seepage, localization, hydrochemistry, impact statements, preventive measures, Wieliczka Salt Mine, Poland

Bardzo łatwa rozpuszczalność minerałów wchodzących w skład złóż soli oraz fakt, że zawodnione skały płonne zmieniają swoje parametry geomechaniczne sprawia, że każda obecność wody, także w otoczeniu złoża, powinna być przedmiotem bacznych obserwacji służb geologicznych. Przyczyną obecności solanek w wyrobiskach kopalni (wycieki są nasycone w różnym stopniu NaCl) są istniejące kontakty hydrauliczne, których powstanie jest niemal nieuniknione zwłaszcza w warunkach trwającej siedem wieków eksploatacji, jak ma to miejsce w przypadku złoża soli kamiennej Wieliczka (Wilk, 1982; Wilk i in., 1990). Wałory geologiczno-przyrodnicze i historyczne kopalni, których potwierdzeniem jest wpisanie jej na listę światowego dziedzictwa UNESCO wymuszają pełną kontrolę każdego zjawiska hydrogeologicznego. Poziom I Bono, mimo niewielkiego w stosunku do innych poziomów zawodnienia, odgrywa ważną rolę w kształtowaniu warunków hydrogeologicznych kopalni, a nawet minimalne wycieki solanki są tam zagrożeniem dla zabytkowych wyrobisk.

Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne złoża soli Wieliczka

Wielickie, mioceńskie złoże soli kamiennej tworzące pas o długości 10–12 km i szerokości do 1,5 km, należy do ciągu złóż soli kamiennych występujących wzdłuż brzegu Karpat fliszowych. Zasadniczą cechą budowy geologicznej złoża jest jego dwudzielność. Górne złoże bryłowe, jest zbudowane ze skał płonnych iłowców marglistych i zubrów zawierających bryły soli zielonych. Dolne złoże pokładowe jest kompleksem pokładów soli kamiennej poprzedzielanych przerostami skał płonnych typu iłowców anhydryto-

wych. Całość w wyniku ruchów górotwórczych Karpat została pofałdowana i złuskowana, czego efektem jest istnienie w złożu pokładowym trzech głównych łusek tektonicznych.

Północną granicę złoża oraz jego nadkład tworzą warstwy chodenickie, z których pochodzi główne zagrożenie wodne kopalni, zaś południową granicę stanowi granica zasięgu Karpat fliszowych. Złoże od warstw wodonośnych oddzielone jest otuliną iłowo-gipsową. Spąg złoża stanowią warstwy skawińskie. Całość przykryta jest utworami czwartorzędowymi, wykształconymi głównie w postaci glin polodowcowych z wkładkami piasków i żwirów (Garlicki & Wilk, 1993).

Złoże jest rozcięte dziesięcioma głównymi poziomami eksploatacyjnymi w skład których wchodzi około 300 km wyrobisk korytarzowych i ponad 2 tysiące komór. Łączna pojemność pustek w górotworze przekracza 6,5 mln m³.

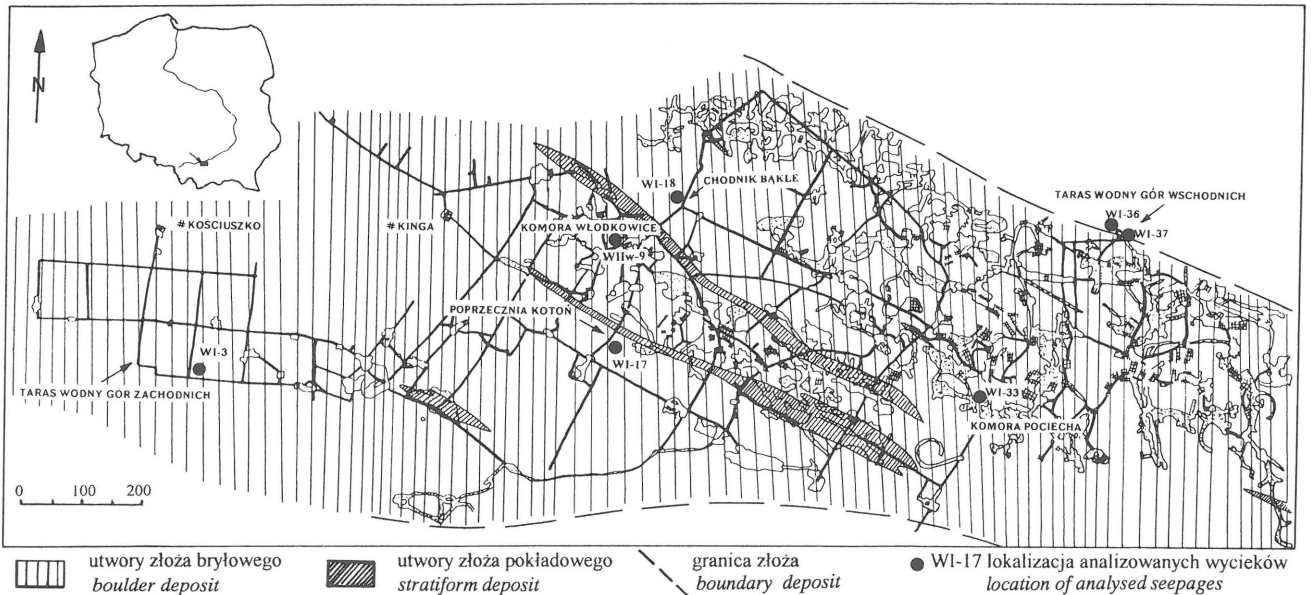
Główne, niebezpieczne dopływy do kopalni rejestrowane są na niższych poziomach (IV–VII) w rejonie północnej granicy złoża (z warstw chodenickich). Dopływy z czwartorzędu, z uwagi na słabe jego zawodnienie, są małe i słabo rozpoznane, z fliszu karpackiego minimalne, a warstw skawińskich także niewielkie i obserwowane na niższych poziomach. Większa część z zarejestrowanych wycieków kopalnianych (łącznie są zarejestrowane 262 wycieki — stan na koniec III kwartału 1997 r.), zlokalizowanych poniżej I poziomu to przecieki wód z poziomów wyższych. Wycieki poziomu I są natomiast naturalnymi dopływami wód do kopalni.

Górnico-geologiczna charakterystyka I poziomu Bono Kopalni Soli Wieliczka

Poziom I Bono Kopalni Soli Wieliczka odznacza się dużymi walorami przyrodniczymi i historycznymi. Tworzące go wyrobiska powstawały sukcesywnie od drugiej połowy XIII w. (istnienie starszych wyrobisk nie jest udokumentowane,

*Kopalnia Soli Wieliczka, Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka

**Wydz. Wiertnictwa, Nafty i Gazu, AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków



Ryc. 1. Zgeneralizowana mapa geologiczna I poziomu Bono w Kopalni Soli Wieliczka; zestawiał J. Przybyło
 Fig. 1. General geologic map of the first drawing level Bono (after J. Przybyło)

lecz możliwe, że kopalnia powstała wcześniej niż sugerują to materiały archiwalne) do połowy wieku XIX. W swym zasadniczym kształcie powstał on przed 1772 r., a potem wykonano tylko zachodnie, peryferyjne fragmenty poziomu oraz około 1840 r. prowadzono na niewielką skalę prace udostępniające i eksploatacyjne (Jaworski i in., 1984). Poziom tworzy szereg krętych, w dużej mierze trudno lub zupełnie niedostępnych chodników o długości dochodzącej do 24 km oraz około sto zinwentaryzowanych, nierównomiernie rozmieszczonych komór będących w rozmaitym stanie technicznym (Opisowa inwentaryzacja..., 1978). Spotykane są także ślady wyrobisk komorowych i chodnikowych obecnie nieistniejących, nie zinwentaryzowanych. Poziom I jest posadowiony na głębokości ok. 60 m ppt lecz niektóre komory dochodzą swymi stropami do głębokości ok. 30 m ppt. Jego długość wynosi około 2,2 km, szerokość dochodzi maksymalnie do 750 m. W ciągu siedmiu wieków swego istnienia był udostępniony dwudziestoma kilkoma szymbami.

W budowie geologicznej I poziomu dominują utwory złoże brylowego. Około 90% komór zostało wykonanych w bryłach soli zielonych. Rozmieszczenie brył jest różne, największa ich koncentracja obserwowana jest w centralnej i północnej części poziomu (rejon szybów Regis, Daniłowicz). Złoże pokładowe reprezentowane jest przez szczytowe partie łusek tektonicznych — południowej i centralnej, zbudowanych z soli spizowych. Tworzą one dwa wyraźnie zaznaczone pasy o przebiegu NW–SE i jeden, zlokalizowany najbardziej na północy, odstaniający się fragmentarycznie. W południowej części złoże na I poziomie jest widoczna także tzw. soczewka soli spizowych Kłęczki (ryc. 1).

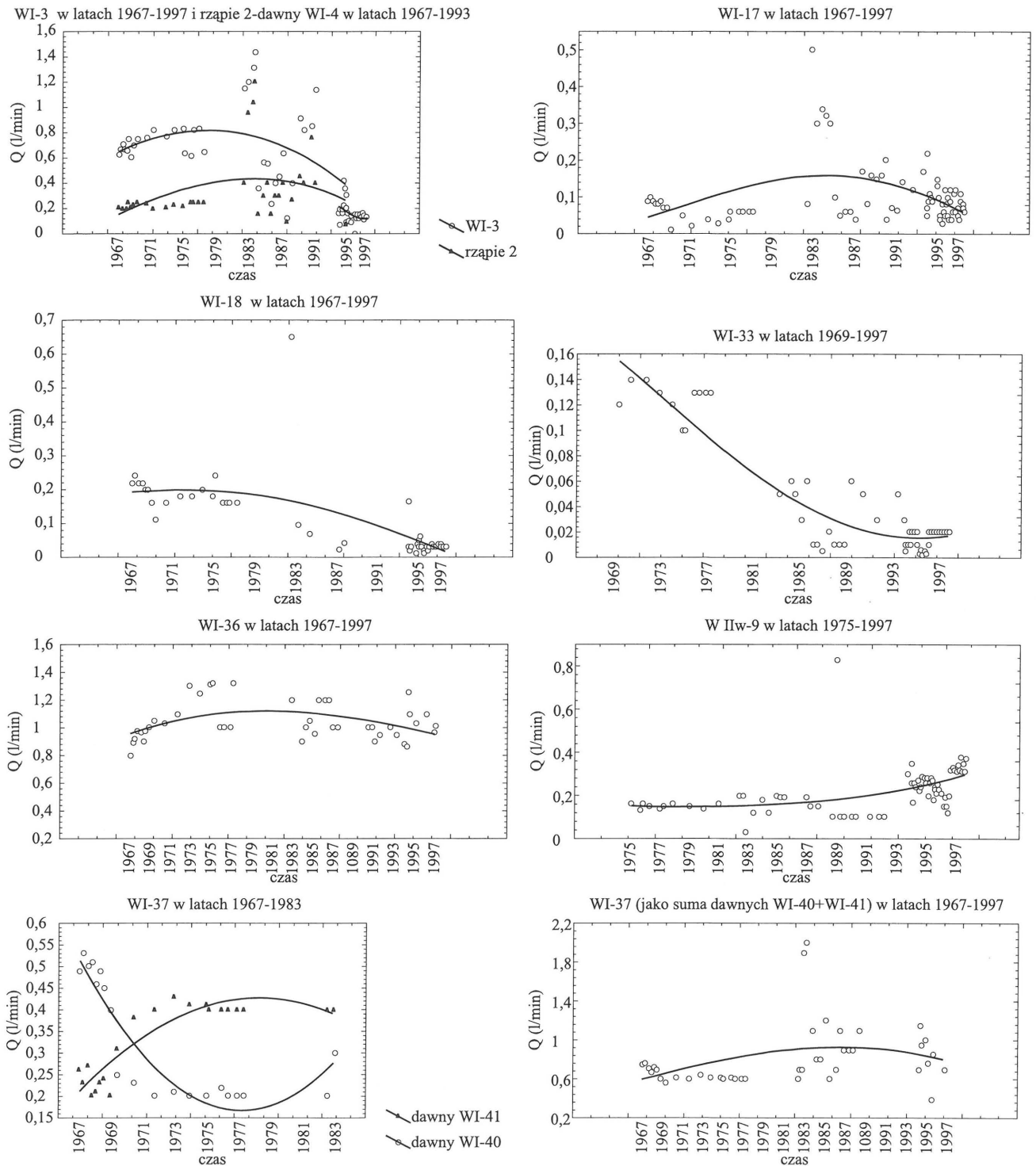
Warunki hydrogeologiczne I poziomu są skomplikowane. Charakterystycznymi cechami wycieków (będących naturalnymi dopływami wód do kopalni) są — znaczna ich ilość (49 — dane j.w.) oraz niewielkie wydatki (dopływ do wyrobisk I poziomu wynosił 4,15 l/min — z tego około połowę stanowi wydatek wycieków WI-36 i WI-37). Sumaryczny dopływ do kopalni wynosi 417,3 l/min, a więc wycieki I poziomu to ok. 1% całości (Dane dotyczące dopływu..., 1997). Odgrywają one jednak istotną rolę w

związku z destrukcyjnym wpływem na stabilność górotworu i stan wielowiekowych komór.

Problem odwadniania wyrobisk I poziomu pojawił się na większą skalę w drugiej połowie XVI stulecia. Dowodem na to są zachowane fragmenty ciągów solankowych, drewniane rury, kadzie wodne i inne tego typu urządzenia. Powstawały także specjalne wyrobiska funkcyjne np. już w pierwszej połowie XIV wieku powstał szyb Wodna Góra, służący do celów odwadniania kopalni (Opisowa inwentaryzacja..., 1978). Istnieje także szereg materiałów archiwalnych, świadczących o problemach związanych z tzw. dzikimi wodami zalewającymi kopalnię.

Wycieki I poziomu charakteryzują się niewielkimi wydatkami, w większości mają charakter wykropleń rozprężonych np. po stopie wyrobiska. Większe dopływy lub intensywne wykroplenia są ujmowane i doprowadzane do systemu odwadniania kopalni. Wykroplenia o mniejszej intensywności nie są ujmowane i w większości gromadzą się w rzapiach wykonanych w spągu wyrobiska.

Na zawodnienie I poziomu wpłynęło wiele czynników. Drogami migracji wód do kopalni są zawsze szyby dopowierzchniowe. Na poziomie I, tak jak ma to miejsce na niższych poziomach, co najmniej w jednym miejscu, naruszono wyrobiskami północną granicę złoże (Taras Wschodni). Dopływające do kopalni wody magazynowano w nieczynnych komorach np. Zawodzie czy Zakadzie. Największe spustoszenia powodowały jednak zapadliska dopowierzchniowe komór, zapoczątkowane w 1579 roku zawaleniem się komory Gmińskie. Niejednokrotnie były one przyczyną znaczących dopływów do kopalni, tak jak np. zawalenie się komór Oszust w 1605 r., Stary Lipowiec w 1648 r. czy też Bakłe, Gołębie i Gawrony w 1762 r. doprowadziło do wdarcia się cieków powierzchniowych do kopalni. Innym przykładem pojawienia się zagrożenia wodnego było powstanie zapadliska komory Międzykaszy w 1839 r. w wyniku którego do wyrobisk przedostała się czwartorzędowa kurzawka (Kolasa & Kubik, 1983). W każdym przypadku zapadliska powodowały przerwanie otuliny iłowo-gipsowej i udrożnienie dróg migracji wody do kopalni. Prawdopodobnie część z tych dróg jest w dalszym ciągu aktywna.

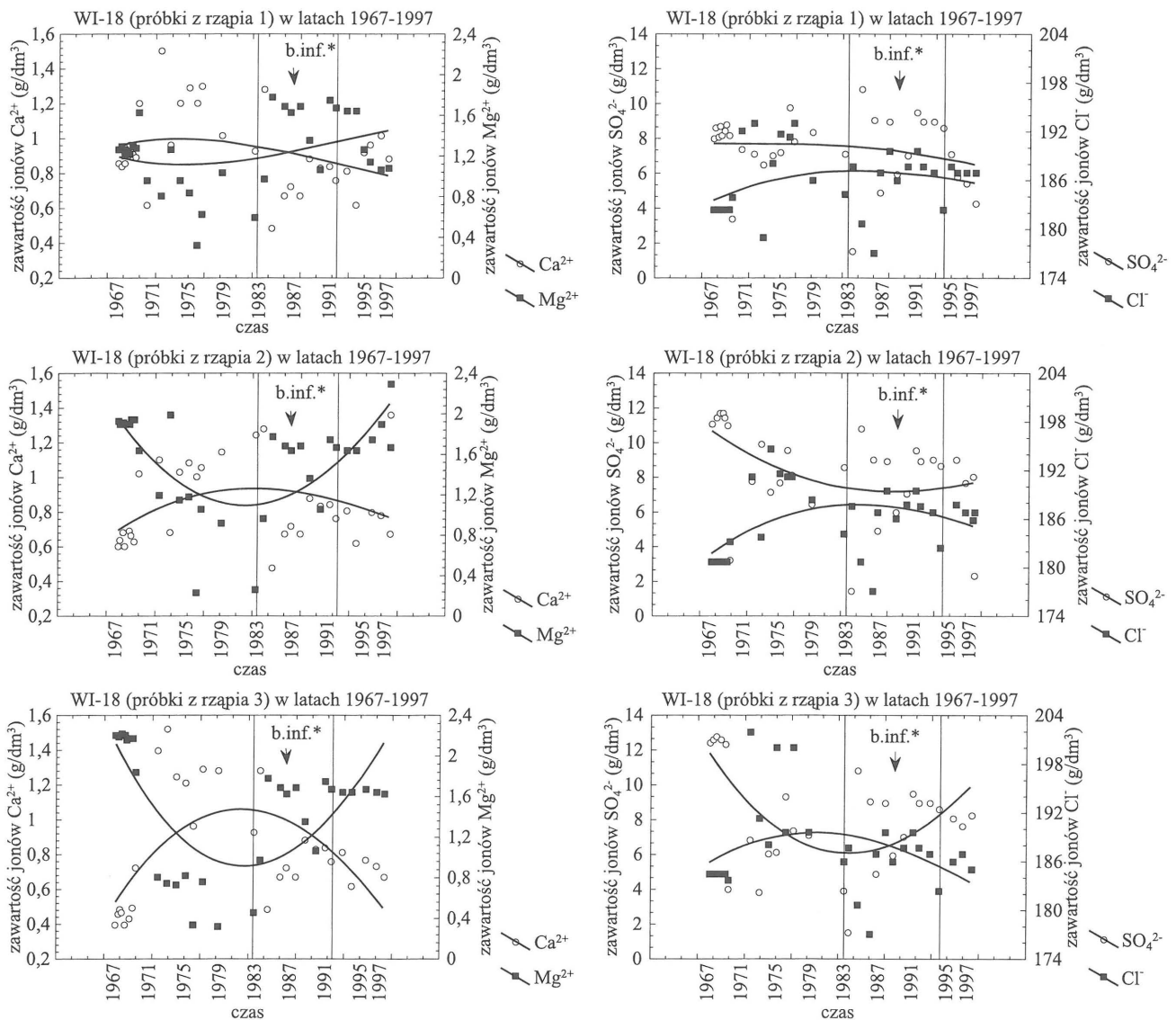


Ryc. 2. Wydajność omawianych wycieków
Fig. 2. Discharge of discussed seepages

Zakres badań

Kopalnia Soli Wieliczka prowadzi systematyczne obserwacje i badania wybranych parametrów fizykochemicznych wszystkich zarejestrowanych wycieków solanek, dla których taka kontrola jest możliwa. Zakres tych badań i ich częstotliwość ustalona przez Dział Geologiczny zależy od tego jak ważny jest dany wyciek z punktu widzenia zagrożenia wodnego kopalni i bezpiecznego prowadzenia robót. Ogólnie można powiedzieć, że omawiane wycieki były

opróbowane z różną częstotliwością, od początku lat osiemdziesiątych raz do roku. W ramach badań były rejestrowane następujące cechy: temperatura, pH, nasycenie NaCl (mierzone *in situ* i w oparciu o badania laboratoryjne), zawartość kationów Ca^{2+} i Mg^{2+} , anionów SO_4^{2-} i Cl^- oraz zawartość części nierozpuszczalnych. Zawartość NaCl jest przeliczana w oparciu o oznaczone stężenie jonów chlorkowych i wartość stosunku gramorównoważnika jonów sodowych do chlorkowych równą 1, co potwierdzają analizy, które miały oznaczone jony chlorkowe i sodowe. Pomiar wielkości wy-



Ryc. 3. Zawartość kationów i anionów dla wycieku WI-18 w latach 1967–1997
 Fig. 3. Anions and cations contents in seepage WI-18 in 1967–1997

datku dla większości wycieków ujmowanych i odprowadzanych do systemu odwodnienia kopalni jest przeprowadzany na podstawie systematycznych pomiarów ilości odprowadzanej wody, dla pozostałych dostępnych wycieków jest dokonywany podczas kontroli (obecnie dwa razy w roku). Osobną grupę badań stanowią analizy izotopowe, które umożliwiają określenie wieku wód.

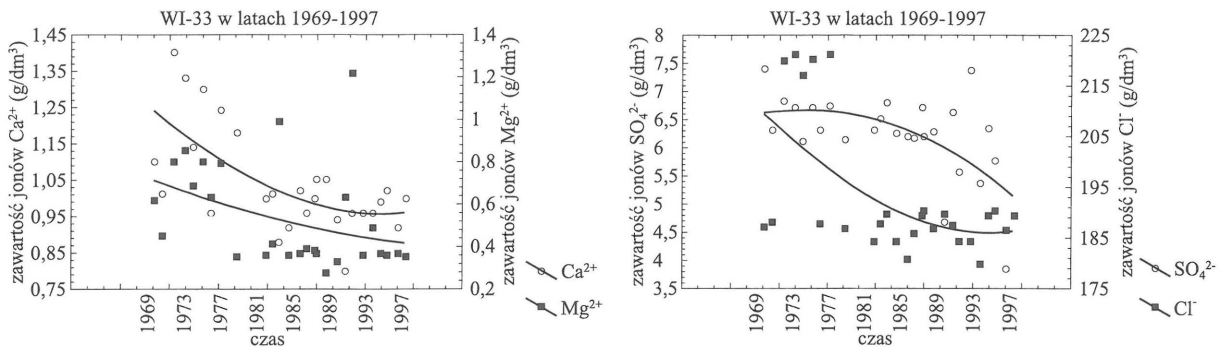
Z pośród 49 zarejestrowanych wycieków do szczególnej analizy wytypowano siedem: WI-3, WI-17, WI-18, WI-33, WI-36, WI-37 oraz WIIw-9 zarejestrowany na poziomie II wyższym, bowiem jego rząpie jest zlokalizowane w wyrobisku znajdującym się poniżej I poziomu, lecz dopływ genetycznie jest związany z wyrobiskami poziomu I. Lokalizacja wycieków przedstawiona jest na mapie (ryc. 1).

Wyboru dokonano według następujących kryteriów:

- 1) dopływ z warstw chodenickich (pewny lub hipotetyczny),
- 2) wielkość wydatku oraz stopień nasycenia wód wycieku, a także ilość wykonanych analiz chemicznych,
- 3) analizy izotopowe wód wycieku wskazujące na głębokość ich pochodzenie,
- 4) umiejscowienie wycieku w strefie granicznej złoża,

5) przestrzenne rozmieszczenie wycieków na poziomie I.

Wszystkie wytypowane wycieki spełniają kryteria nr 1 i 2. Kryterium 3 spełniają wycieki WI-3, WI-17, oraz WIIw-9. Kryterium 4: wycieki WI-18, WI-36, WI-37. W celu uzyskania równomiernie rozłożonego w przestrzeni obrazu wytypowano wyciek WI-33. Wybrane wycieki stanowią zróżnicowaną bazę danych. Są to przeważnie stare dopływy, które obserwowane były od dawna, lecz zostawały uwzględniane w rejestrze wycieków przy okazji kolejnych inwentaryzacji (większość od drugiej połowy lat sześćdziesiątych). Jednymi z najwcześniej rejestrowanych są wycieki Tarasu Wschodniego. Niektóre wycieki obejmują tylko jedno miejsce dopływu, inne choć oznaczone jednym numerem obejmują kilka wpływów solanki dotyczących tego samego chodnika. Z uwagi na ostatnią inwentaryzację, która miała miejsce w 1981 r. i spowodowała zmianę numerów, niektóre próbki były oznaczane tylko numerami według aktualnej nomenklatury i brak informacji, z którego rząpia pochodzą co zaznaczone zostało na wykresach. Wybrane wycieki uznano za reprezentatywne dopływy z warstw chodenickich na poziomie I. Z pozostałych zjawisk hydrogeologicznych nie objętych niniejszą analizą na uwagę zasługują tylko:



Ryc. 4. Zawartość kationów i anionów dla wycieku WI-33 w latach 1969–1997
 Fig. 4. Anions and cations contents in seepage WI-33 in 1969–1997

wyciek WI-27 charakteryzujący się niepełnym nasyceniem (ok. 145 g/l NaCl) przy stosunkowo niewielkim wydatku rzędu 0,02 l/min, wyciek ten, jak wskazują analizy izotopowe z lat 1985 i 1993 jest przebiegiem z czwartorzędu więc nie spełnia ustalonego kryterium, wyciek WI-11 także o niewielkim wydatku (ok. 0,09 l/min) i nie w pełni nasycony (ok. 216 g/dm³ NaCl), ale wody dopływające do jego rzępi są mieszaniną naturalnego dopływu wód z czwartorzędu, ujmowanych w pobliskim szybie Paderewski oraz wód technologicznych (z chwilowej awarii rurociągu przeciwpożarowego).

W ramach pracy przeanalizowano zawartość jonów Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, stężenie NaCl, wydajność wycieków, a także wybrane wskaźniki hydrochemiczne. Są to wzajemne stosunki jonów lub grup jonów wyrażane w miliwalach wykorzystywane między innymi przy hydrogeochemicznych badaniach regionalnych (Macioszczyk, 1987). Na wykresach przedstawiono wskaźniki, które uwzględniały

oznaczane jony: wskaźnik $\frac{rSO_4^{2-}}{rCl}$ zwany wskaźnikiem siarczanowym i wskaźnik $\frac{rCa^{2+}}{rMg^{2+}}$. Badany przedział czasowy

obejmował okres 31 lat, od 1967 r. do chwili obecnej. Zrezygnowano z wyników wcześniejszych z uwagi na niepełne i często mało precyzyjne dane. Dla wycieku WI-33 i WIIw-9 okres badawczy był krótszy (od momentu rejestracji zjawiska wypływu solanki). Pomiary wydajności dla niektórych wycieków (WI-3, WI-17, WI-18, WI-33 i WIIw-9) w ciągu ostatnich czterech lat pochodzą z dokładnych, comiesięcznych odczytów wodowskazowych w rzępiach, co było niemożliwe dla wycieków, z których solanka jest odprowadzana w sposób ciągły do systemu odwodnienia kopalni (WI-36, WI-37). Z uwagi na znikomą zawartość części nierozpuszczalnych w wyciekach I poziomu wielkość ta została pominięta.

Krzywe obrazujące zmienności danych cech w omawianych przedziałach czasowych zostały przedstawione na wykresach. Do graficznej interpretacji danych został wykorzystany program Statistica. Aproksymację przeprowadzono metodą odwrotnie wykładniczą. Metodę tą można stosować przy analizie danych, których wielkości nie odbiegają znacznie od siebie, a także do opisu rozwiniętych modeli jakościowych zjawisk badawczych. Wycieki zostały omówione według kolejności numeracji.

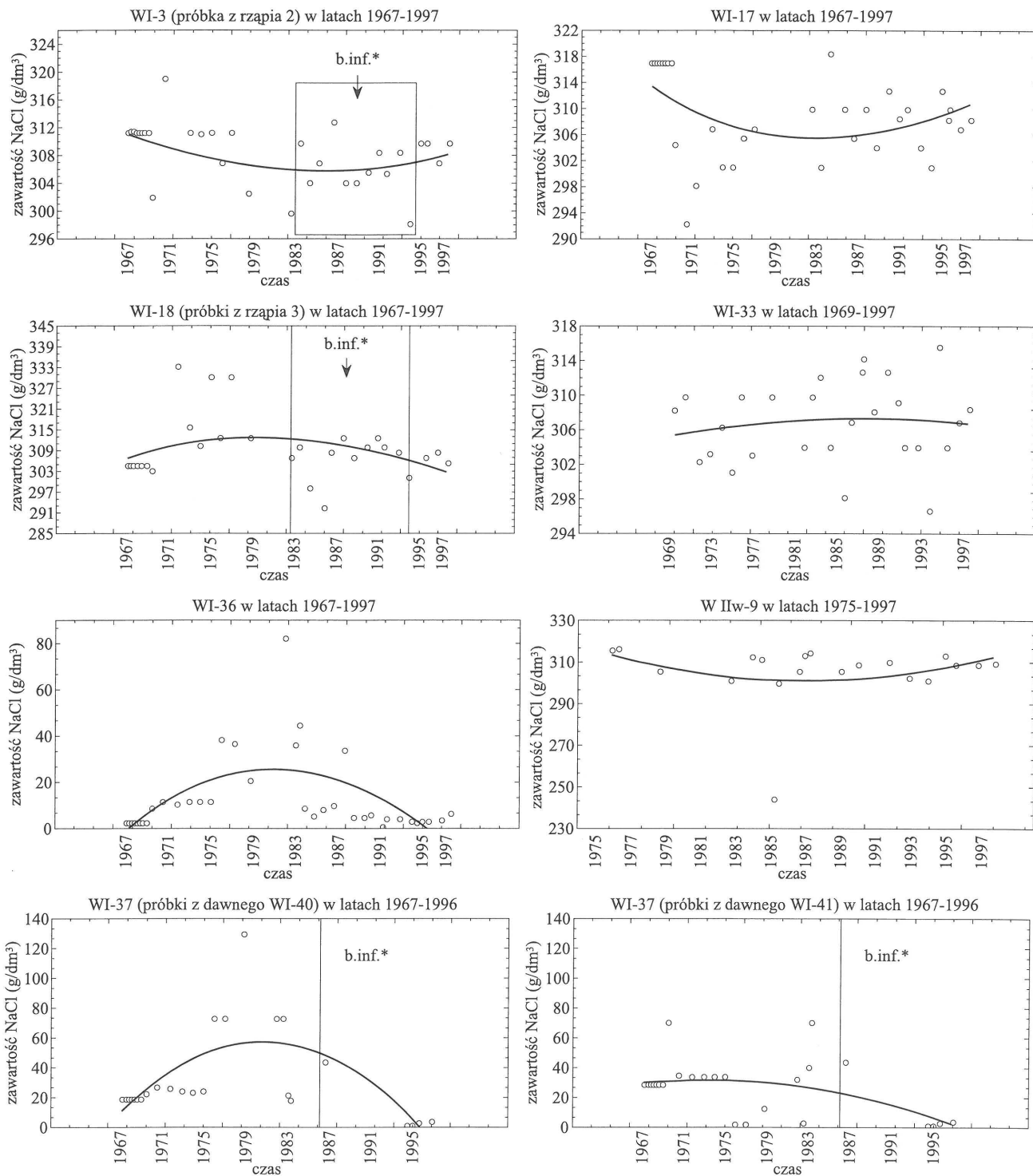
Charakterystyka wybranych wycieków kopalnianych I poziomu

Wyciek WI-3. Wyciek jest umiejscowiony w podłużni Taras zlokalizowanej w zachodniej części I poziomu. Chod-

nik ten należy do zespołu wyrobisk nazwanych Tarasem Wodnym Gór Zachodnich, który powstał niemal w całości w latach 1772–1790, w sposób charakterystyczny dla eksploatacji porozbiorowej. Zastosowano tu jako jeden z pierwszych w kopalni system chodników podłużnych i poprzecznych w stosunku do rozciągłości złoża. Niemal od początku istnienia wyrobisk występowały w nich zjawiska wodne, związane z wyciekami z powstałego w tym rejonie szybu Kościuszko oraz z wyciekami w chodnikach. Świadectwem tego są zachowane systemy ciągów wodnych z 1778 i 1790 roku. Obecnie woda gromadzi się w rzępiach oraz zagłębieniach spągu wyrobisk. Analizy izotopowe z lat 1983–1985 wskazują na wody glacialne z małą domieszką współczesnej wody infiltracyjnej (Grabczak & Zuber, 1985). W budowie geologicznej rejonu jest obecne tylko złożo bryłowe wykształcone w postaci głównie skał płonnych typu zubrów z mniejszymi bryłami soli zielonych. Zjawisko wodne zostało zarejestrowane i objęte pomiarami w 1969 r. Wyciek obejmuje 5 wycieków według dawnej numeracji sprzed 1981 r. WI-3, WI-4, WI-77, WI-8, i WI-87. W niniejszym opracowaniu pominięto wpływ oznaczony dawniej jako WI-87, z uwagi na znikomą wydajność i niewielką ilość danych. Poszczególne wycieki składające się na wyciek WI-3 różnią się wydajnością. Największą wykazuje wyciek oznaczony dawniej jako WI-4 (większy niż suma trzech pozostałych) (ryc. 2). Sumaryczny wydatek z poszczególnych rzępi utrzymywał się na stałym poziomie, ale w latach 1982–1984 nastąpił wzrost wydajności i dotyczył on tylko wycieków oznaczonych dawniej jako WI-4 (wzrost o rząd wielkości) i WI-77 (wzrost dwukrotny). Na przestrzeni ostatnich kilku lat wydajność ma tendencję malejącą. Obecnie sumaryczna wydajność wycieku wynosi ok. 0,15 l/min (ryc. 2) przy nasyceniu ok. 308 g/l NaCl (ryc. 5). Zawartość omawianych kationów i anionów oraz NaCl jest mniej więcej stała. Jedyłą prawidłowością jaką można zauważyć to, że wskaźnik $\frac{rSO_4^{2-}}{rCl}$ jest odwrotnie proporcjo-

nalny do wskaźnika $\frac{rCa^{2+}}{rMg^{2+}}$ (ryc. 6). Z uwagi na podobny przebieg krzywych obrazujących wycieki w poszczególnych rzępiach można sądzić o podobnym charakterze wód składających się na wyciek WI-3.

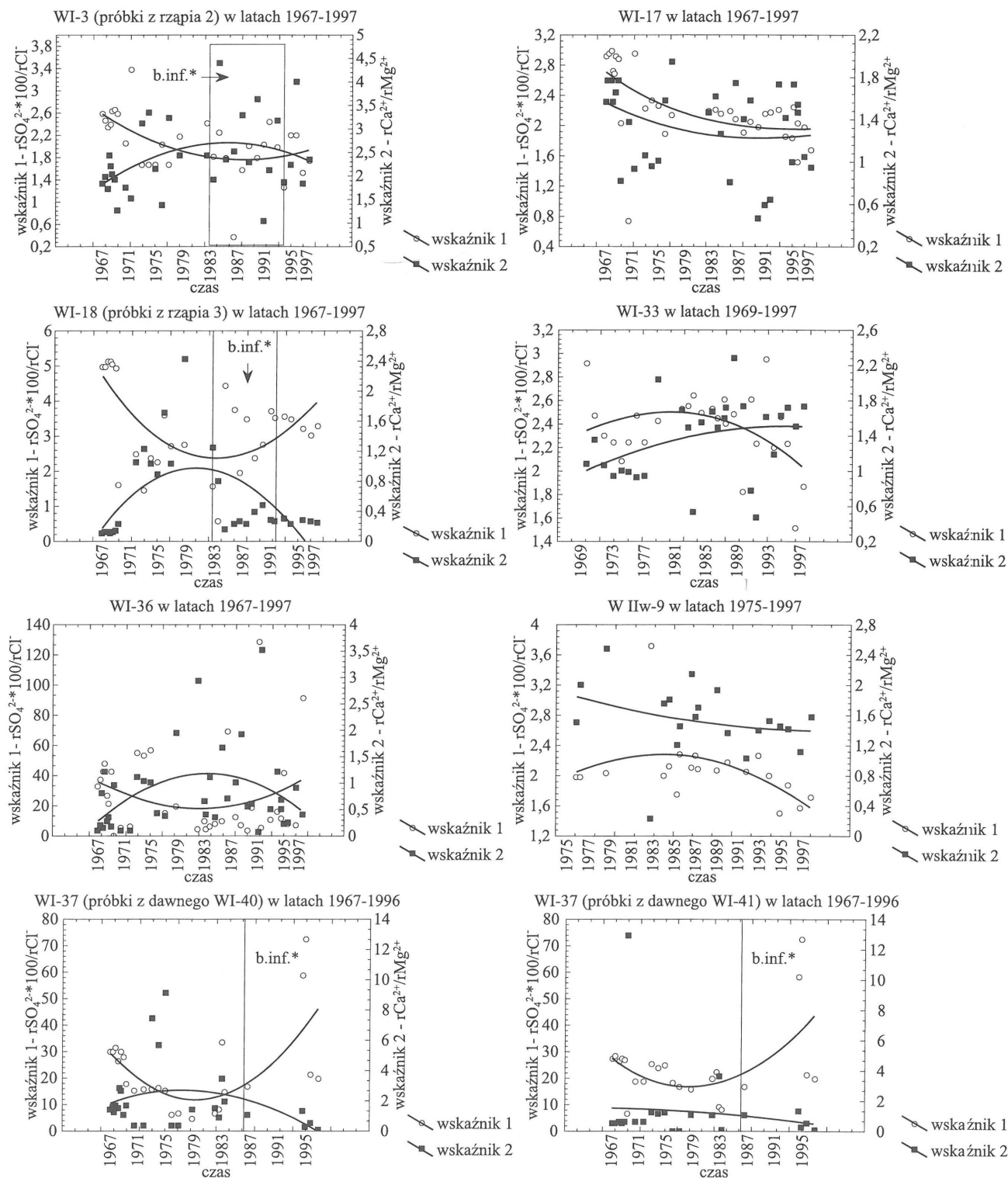
Wyciek WI-17. Wyciek jest umiejscowiony w poprzeczni Kotoń zlokalizowanej w środkowej części poziomu. Chodnik powstał dwuetapowo — jego część północna została wykonana w XVII w., a część południowa w pierwszej połowie XVIII w. Jest to rejon złoża, charakteryzujący się obecnością dużych brył soli zielonych, rozlokowanych blisko siebie.



Ryc. 5. Zawartość NaCl dla omawianych wycieków
 Fig. 5. Content of NaCl in discussed seepages

Chodnik został wykonany w złożu brylowym, w części północnej w typowych iłowcach marglistych, zubrach i bryłach soli zielonej laminowanej, w części południowej rozci-na duże bryły soli zielonych witrażowych. Jedynie w części środkowej chodnika odśtania się pas soli spizowych złoża pokładowego, zapadających na południe pod kątem ok. 60°. W wyniku specyficznej budowy geologicznej (koncentracji brył soli zielonych) w najbliższym otoczeniu poprzeczni

znajduje się wiele wyrobisk komorowych, w większości niedostępnych, oraz po części nie zinwentaryzowanych. Wyciek w chodniku genetycznie jest związany ze starymi zrobami. Początkowo dopływ następował tylko od spągu wyrobiska i gromadził się w dużym rząpiu. W 1993 r. ujawnił się wypływ we wschodniej części jego ociosu. W miejscu wypływu jest widoczny rdzawy nalot — charakterystyczny dla wycieków pochodzących ze starych zro-



Ryc. 6. Wartość wskaźników hydrochemicznych dla omawianych wycieków; b. inf.* — brak informacji z którego rzepia pochodzi anlizowana solanka

Fig. 6. Hydrochemical index contents in discussed seepages

bów. W najbliższym otoczeniu wycieku nastąpił w 1698 r. zawał dopowierzchniowy komory Słaboszów, nieco dalej na południe w 1834 r. zawał komory Międzykaszty. Analiza izotopowa wykonana w 1997 r. wskazuje na pozabawione trytu wody z końca glaciału. Wyciek jest rejestrowany od 1943 r.

Omawiane parametry chemiczne są stałe, można jedynie mówić o niewielkim wzroście wydajności jaki miał miejsce w latach 1983–1985. Wydajność wycieku wynosi około 0,08 l/min (ryc. 2) przy nasyceniu NaCl ok. 308 g/l (ryc. 5).

Wyciek WI-18. Wyciek jest umiejscowiony w chodniku Bąkłe, wykonanym ok. 1720–1740 r. w rejonie najstar-



Ryc. 7. Ujęcie wycieku WI-36 (wykonane ok. połowy XIX w.)
Fig. 7. Seepage WI-36 (intake was made in mid-XIX century)
(fot. J. Przybyło)

szych zrobów kopalni (komory Gołębie, Gawrony, Bąkle), powstałych w wiekach XIII, XIV i XV, związanych z szymbami Goryszowski i Swadkowski. Chodnik swym północnym odcinkiem przechodzi przez dawne wyrobiska komorowe (widoczne kaszty i mury solne), które nie zostały ujęte na mapach Marcina Germana z 1638 r., ani nie figurują na mapach obecnych, możliwe zatem, że są to jedne z najstarszych komór odkryte podczas wykonywania wyrobiska, choć mogły też powstać równoległe z nim. Wykonany jest w pobliżu północnej granicy złoża niemal w całości w utworach złoża bryłowego, jedynie na skrzyżowaniu z chodnikiem Goryszowski odsłaniają się w niewielkim stopniu sole spizowe złoża pokładowego. Cały rejon jest zawilgoceny. W 1762 r. komory Bąkle, Gołębie i Gawrony uległy zawałowi dopowierzchniowemu, w wyniku którego do kopalni przedostała się woda z ciekłu powierzchniowego. Zapadlisko pogłębiało się sukcesywnie do początków XX w., znaczny dopływ wody został powstrzymany dopiero na przełomie wieków XIX i XX. Obecnie woda gromadzi się w pięciu rząpiach oraz miejscami w zagłębieniach spągu chodnika. Wyciek rejestrowany od 1943 r.

Szczegółowej analizie poddano solanki gromadzące się w rząpiach 1, 2, 3, według poprzednio obowiązującego nazewnictwa odpowiadające wyciekom WI-28, WI-29 i WI-30 (brak danych odnośnie pozostałych). Zmienność zawartości kationów i anionów przedstawiono na ryc. 3. Zmienność zawartości NaCl i wybranych wskaźników hydrochemicznych przedstawiono na przykładzie wycieku oznaczanego poprzednio jako WI-30 (ryc. 5, 6). Wydajności

z poszczególnych rząpi są podobne i wszystkie w okresie ostatnich dwóch lat mają stałe wartości nieco mniejsze niż w poprzednim okresie czasu (ryc. 2). W przypadku wycieków określanymi dawniej jako WI-29 i WI-30 miał miejsce wzrost wydajności w latach 1982–1984. Porównując krzywe opisujące zachowanie kationów, anionów i omawianych wskaźników chemicznych można dopatrzeć się analogii w kształcie dla wycieków dawniej określanymi jako WI-29 i WI-30, co pozwala wysnuć hipotezę o podobnych drogach zasilania dla wyżej wymienionych wycieków, a o nieco odmiennych warunkach przepływu dla dawnego WI-28 (rzapie 1), który wykazuje mniejszą zmienność omawianych parametrów chemicznych. Sumaryczna wydajność wycieku wynosi w przybliżeniu 0,05 l/min (ryc. 2) przy nasyceniu NaCl ok. 309 g/l (ryc. 5).

Wyciek WI-33. Wyciek jest umiejscowiony w chodniku prowadzącym do komory Pocięcha. Wyrobiska w tym rejonie powstały do 1620 r. Zachowane fragmenty dawnych urządzeń odwadniających świadczą o występowaniu tu w dawnych wiekach dopływów wód. W tym rejonie skoncentrowało się wiele zapadlisk dopowierzchniowych — w 1642 r. zawałiła się komora Konieczne (zawalisko ponowiło się w 1723 r.), w 1648 r. z kolei komora Stary Lipowiec (co doprowadziło do wdarcia się ciekłu powierzchniowego do kopalni), a w roku 1786 komora Lubna (Kolasa & Kubik, 1983). Chodnik wykonany w całości w utworach złoża bryłowego, w rejonie koncentracji dużych brył soli zielonych witrażowych. Woda gromadzi się w rzapiu w chodniku. Wyciek rejestrowany od 1969 r.

Zmienność zawartości kationów i anionów przedstawiono na ryc. 4. Krzywe wskazują na malejącą tendencję w zawartości anionów i kationów SO_4^{2-} , przy stałej zawartości NaCl (ryc. 5) i malejącej wydajności w stosunku do notowanych w pierwszych latach zarejestrowania zjawiska (ryc. 2). Obecnie wydajność wynosi ok. 0,02 l/min przy zawartości NaCl ok. 306 g/l.

Wycieki WI-36, WI-37. Wycieki są umiejscowione w zespole wyrobisk zwanym Tarasem Wodnym Gór Wschodnich. Nakładają się tu dwa systemy chodników i komór — pierwszy staropolski, w większości już niedostępny, z najstarszym wyrobiskiem sprzed 1518 r. oraz drugi z czasów porozbiorowych z około połowy XIX w. Oba wycieki należą do najgroźniejszych zjawisk hydrogeologicznych na I poziomie — łączny ich dopływ jest równy około połowy dopływu do wyrobisk I poziomu. Przyczyną powstania wycieków było naruszenie chodnikami północnej granicy złoża, co miało miejsce około 1622 r. Słodką wodę z wycieków używano do pojenia koni kopalnianych. W XIX w., w celu poprawy ujęć poprowadzono chodniki (dolny i górny), które mimo swego złego stanu pełnią swą rolę do dzisiaj. Chodniki zostały wykonane w utworach złoża bryłowego i granicznych, obserwowano tu odsłonięcia warstw chodenickich — iltów mulistych z wkładkami margli dolomitycznych. (Opisowa inwentaryzacja..., 1978). Dolny chodnik jest zamknięty tamą kłocową, a przed nią znajduje się próg wodny (WI-36). Górny chodnik, obecnie trudno dostępny, zamknięty jest tamą murową (WI-37). W najbliższym otoczeniu wycieków są obserwowane podługowania ociosów chodników, kawerny oraz widoczne są drobne wykroplenia. Analizy izotopowe wód wskazują na wody holocenijskie z domieszką wody współczesnej (Duliński i in., 1995; Grabczak & Zuber, 1985). Wycieki w obecnej postaci rejestrowano od 1895 r.

WI-36. Nasycenie NaCl, które od początku lat dziewięćdziesiątych wynosi około 4 g/l w latach 1976–1987 było

większe o rząd wielkości (ryc. 5). Wydajność wycieku wynosi około 1 l/min (ryc. 2).

WI-37. Na ten wyciek składają się dwa wycieki rejestrowane poprzednio jako WI-40 i WI-41. Nasylenie NaCl było większe o rząd wielkości do końca lat osiemdziesiątych (ryc. 5). Na przestrzeni ostatnich kilku lat wynosi ok. 3g/l. Z kształtu krzywych wynika, że wydajność dawnego wycieku WI-40 jest odwrotnie proporcjonalna do dawnego WI-41 przy praktycznie stałym wydatku sumarycznym (ryc. 2). Niestety nie wiadomo czy dotyczy to ostatniego okresu po roku 1983, gdyż wydajność w tym okresie jest podawana tylko jako suma z dwóch ujęć. Różny kształt krzywych obrazujących przebieg omawianych parametrów chemicznych może świadczyć o tym, że mimo iż woda przepływa w skałach otaczających złożę zgodnie z zasadą wyboru jednej z dwóch dróg krążenia to ich odmienność geologiczna sprawia, że wycieki różnią się charakterystyką chemiczną. Trzeba dodać, że stwierdzenie na ile różnią się oba wycieki składające się na wyciek WI-37 jest enigmatyczne, gdyż dane odnośnie tego wycieku nie były w pełni precyzyjne (w przypadku 3 pomiarów przyporządkowano wyniki na podstawie porównania wartości z pozostałymi). Sumaryczna wydajność ujęcia wynosi ok. 0,8 l/min.

Wyciek WIIw-9. Wyciek rejestrowany na poziomie II wyższym ze względu na umiejscowienie rzepia — około trzy metry poniżej właściwego poziomu I, w chodniku odwadniającym pod komorą Włodkowice. Komora ta została wykonana w złożu bryłowym, w bryle soli zielonej odkrytej w 1635 r. płytko pod powierzchnią terenu podczas drążenia szybu Daniłowicz. W latach czterdziestych XVII stulecia do komory zaczęła dopływać słodka woda, w wyniku czego w 1699 r. została ona całkowicie zalana. Efektem był zawał dopowierzchniowy komory mający miejsce w 1703 r. Obecnie dostępne fragmenty komory Włodkowice są suche, natomiast dopływ do rzepia wyraźnie pochodzi ze strony podsadzonej dziś komory Łętów, także wykonanej w tej samej bryle soli zielonej, zatem w niej mogą znajdować się współczesne drogi migracji wód. Ze zjawiskami hydrogeologicznymi tego rejonu jest związane niewątpliwie zawodnienie kaplicy św. Antoniego, także wykonanej w tej samej bryle. Analizy izotopowe wykonane w 1997 r. wskazują na glacialne pochodzenie wód. Wyciek w swej obecnej postaci jest rejestrowany od 1975 r.

Od 1993 r. można zauważyć niewielki wzrost wydajności (ryc. 2). Obecnie wydajność wynosi ok. 0,35 l/min przy nasyceniu NaCl ok. 308 g/l (ryc. 5).

Podsumowanie

Na podstawie przeanalizowanych krzywych można stwierdzić, że omawiane wycieki charakteryzują się składem chemicznym oscylującym wokół stałych wartości.

Wartości wskaźnika siarczanowego są dla większości wycieków mniejsze niż 5, jedynie dla wycieków WI-36 i WI-37 osiągają wartości z przedziału 10–80 (ryc. 6) świadczące o obecności strefy aktywnej wymiany z wodami infiltracyjnymi (Pazdro, 1983). Natomiast wartości wskaźnika $\frac{rCa^{2+}}{rMg^{2+}}$, który w wodach wysoko zmineralizowanych przyjmuje wartości 0,1–100 (Macioszczyk, 1987) są mniejsze od

1 dla wycieków WI-18, a dla pozostałych oscylują wokół tej wielkości natomiast dla WI-33 i WIIw-9 są większe od 1.

Zmiany wydajności to spadek w przypadku WI-33, nieznaczne obniżenie w wyciekach WI-3 i WI-18 i nieznaczny wzrost w okresie ostatnich czterech lat dla WIIw-9. Wydajności dwóch najgroźniejszych wpływów WI-36 i WI-37 wahają się wokół stałych wartości. Na uwagę zasługuje fakt, że dla wycieków: WI-3, WI-17, WI-18, odnotowano wyraźny wzrost wydajności w latach 1982–1984, a w przypadku sumarycznego wydatku WI-37 dotyczyło to tylko 1983 r. Zmiany wydajności nie koniecznie są związane z warunkami hydrogeologicznymi, ale mogą mieć przyczyny górniczo-techniczne. Pogorszenie stanu technicznego w rejonie ujęcia danego wycieku powoduje, że solanka nie jest ujmowana punktowo, a częściowo ulega rozproszeniu w postaci zawilgoceń i wykropleń. Z kolei poprawa warunków technicznych ujęcia może sugerować pozorny wzrost wydajności wycieków.

Wycieki kopalniane, analizowane w czasie ostatnich 31 lat nie podlegały zmianom, których charakter mógłby wskazywać na zwiększenie zagrożenia wodnego poziomu I kopalni ze strony warstw chodenickich. Jedynie wody wycieków Tarasu Wschodniego, mogą budzić pewne obawy, z uwagi na małe, różniące się o dwa rzędy wielkości od innych, nasycenie NaCl, największą spośród wycieków I poziomu wydajność oraz istnienie składowej infiltracyjnej (co stwierdziły badania izotopowe oraz obliczone wskaźniki hydrochemiczne). Celowe byłoby objęcie wspomnianych wycieków dokładniejszymi badaniami, ale z uwagi na stan techniczny tego rejonu nie jest to w pełni możliwe.

Praca zrealizowana w ramach badań własnych 10.190.35.

Literatura

- BUKOWSKI K. 1994 — Środowisko sedymentacji i geneza bryłowej części złoża w Wieliczce. *Prz. Geol.*, 42: 754–758.
- Dane** dotyczące dopływu do Kopalni Soli Wieliczka z wycieków za III kwartały 1997 r. 1997 — Rejestr wycieków kopalnianych poziom I i II wyższego. *Arch. Działu Geol. K.S. Wieliczka.*
- DULIŃSKI M., GRABCZAK J. & ZUBER A. 1995 — Wyniki analiz izotopowych próbek solanki z Kopalni Soli Wieliczka. *Arch. Działu Geol. K.S. Wieliczka.*
- GARLICKI A. & WILK Z. 1993 — Geologiczne i hydrogeologiczne tło awarii na poziomie IV Kopalni Soli Wieliczka. *Prz. Geol.*, 41: 183–192.
- GRABCZAK J. & ZUBER A. 1985 — Sprawozdanie przejściowe z badań izotopowych wód z wycieków z Kopalni Soli w Wieliczce za okres 1983–1984. IFTJ AGH, *Arch. Działu Geol. K.S. Wieliczka.*
- JAWORSKI W. & KUROWSKI P. 1984 — Charakterystyka zabytkowych wyrobisk Kopalni Soli w Wieliczce. *Studia i materiały do dziejów żup solnych w Polsce*, 13: 17–105.
- KOLASA K. & KUBIK K. 1983 — Poeksploatacyjne zapadliska wielickie. *Studia i materiały do dziejów żup solnych w Polsce*, 12: 7–62.
- MACIOSZCZYK A. 1987 — Hydrogeochemia. *Wyd. Geol.*
- Opisowa** inwentaryzacja i wstępna dokumentacja geologiczno-historyczna wyrobisk zabytkowych I poziomu kopalni soli w Wieliczce 1978 — *Arch. Działu Geol. K.S. Wieliczka.*
- PAZDRO Z. 1983 — *Hydrogeologia ogólna*. *Wyd. Geol.*
- WILK Z. 1982 — Prawidłowości w natężeniu wpływów i jakości wód słonych w kopalni soli w Wieliczce. *Spraw. Posiedz. Kom. Nauk PAN Oddz. Kraków*, 24, cz.1.
- WILK Z., ADAMCZYK A.F. & NAŁECKI T. 1990 — Wpływ działalności górniczej na środowisko wodne w Polsce. *Wyd. SGGW-AR*, Warszawa.